

Anne Kyrö

Sähkökäyttöisen juniori formulaveneen sähkö- käyttö ja sähköturvallisuus

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Sähkövoimatekniikka

Insinöörityö

2.5.2014

Tekijä Otsikko Sivumäärä Aika	Anne Kyrö Sähkökäyttöisen juniori formulaveneen sähkökäyttö ja sähkö- turvallisuus 32 sivua + 5 liitettä 2.5.2014
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Sähkötekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	Sähkövoimatekniikka
Ohjaajat	Lehtori Kai Lindgren Osaamisaluepäällikkö Jari Savolainen
<p>Tässä insinöörityössä suunnitellaan sähköistys sähkökäyttöiseen juniori formulaveneeseen. Kyseisen formulaveneen moottorin suunnittelee ja toteuttaa Metropolia AMK:n koneosasto. Tämä työ keskittyy veneen sähköistyksen komponenttien valintaan ja turvallisuusnäkökohtiin juniorien kilpailukäyttöön tarkoitettuun veneeseen.</p> <p>Työ tehtiin suurimmaksi osaksi kirjallisuustutkimuksena. Aineistona käytettiin internetsivustoja. Työ aloitettiin tutkimalla merilainsäädäntöä ja sisävesilainsäädäntöä.</p> <p>Sen jälkeen tutustuttiin erityyppisiin akkuihin ja niiden ominaisuuksiin, joista sopivimmat valittiin vertailuun. Vertailun perusteella valittiin akku, jonka ominaisuudet sopivat parhaiten valmisteilla olevaan formulaveneeseen. Sen jälkeen valittiin loput sähköistykseen tarvittavat komponentit.</p>	
Avainsanat	juniori formulavene, sähköistys, sähköturvallisuus

Author Title	Anne Kyrö The Electrification and Electrical Safety of a Junior Formula Boat
Number of Pages Date	32 pages + 5 appendices 2 May 2014
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Electrical Engineering
Specialisation option	Electrical Power Engineering
Instructors	Kai Lindgren, Senior Lecturer Jari Savolainen, Head of Department
<p>The purpose of this graduate study was to design the electrification to a junior formula boat with electrical engine. The motor of the formula boat will be designed and built by the department of Mechanical Engineering of Metropolia University of Applied Sciences. The goal was to choose the right components for the boat's electrification, as well as to study the safety features needed for a formula boat intended for racing in junior classes.</p> <p>This study is based on professional literature, mostly internet documents were examined. The study starts with examining the maritime legislation and the inland waterway legislation.</p> <p>The study continues with examining the different battery types and their attributes, out of which the best ones were selected for comparison. In the end the battery with best qualities was chosen to the formula boat being built. After the battery selection the other electrification components were chosen.</p>	
Keywords	junior formula boat, electrification, electrical safety

Sisällys

Tiivistelmä

Abstract

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Esittely	2
3	Sähkökäyttöinen formulavene	4
4	Merilainsäädännön asettamat vaatimukset	5
5	Sisävesilain säädännön asettamat vaatimukset	8
6	Suunnittelu	9
6.1	Lähtökohta	9
6.2	Akun valitseminen	9
6.3	Akkutyypit	10
6.3.1	Nikkeli-kadmiumakku (NiCd)	10
6.3.2	Nikkelimetallihybridi-akku (Ni-MH)	11
6.3.3	Litiumioniakku (Li-ion, Lilon)	12
6.3.4	Litiumpolymeeriakku (LiPo)	13
6.3.5	Lyijyakku	13
6.3.6	Suljettu lyijyakku (VRLA-akku)	14
6.4	Akun valitsemiseen vaikuttavia seikkoja	15
6.5	Akut ja akujen varaaminen	18
6.6	Invertteri	19
7	Asennustarvikkeet	21
7.1	Akkulaatikko	21
7.2	Akkujen varaustason näyttö	21
7.3	Akkujen virran hätäkatkaisin	22
7.4	Virtalukko	23
7.5	Jakorasia ja liitinrima	23

7.6	Kaapelin läpivienti	24
7.7	Johdonsuojakatkaisija	25
7.8	Vikavirtasuojakytkin	25
8	Turvallisuus	27
9	Periaatekaavio	28
9.1	Toiminta periaate	28
10	Loppuyhteenveto	30
	Lähteet	31
	Liitteet	
	Liite 1. Hankintahinnasto	
	Liite 2. Akkujen huolto-ohjeet	
	Liite 3. Sähköpiirustukset	
	Liite 4. Moottorin ominaisuudet	
	Liite 5. Invertterin ominaisuudet	

Lyhenteet

Ah	ampeeeritunti on akun kapasiteetin mittayksikkö
kW	kilowatti kertoo moottorin tehosta
kWh	kilowattitunti kuvaa moottorin ottamaa tehoa tunnissa
IP	IP-luokitus kertoo, kuinka hyvin kotelo suojaa laitetta pölyltä ja vedeltä

1 Johdanto

Tämän työn tarkoituksena on suunnitella sähköistys Metropolia AMK:n hankkeeseen rakentaa sähkökäyttöinen juniori formulavene. Tarve sähköisen formulaveneen rakentamiselle on syntynyt, koska nykyiset bensiinimoottorikäyttöiset veneet ovat kovin äänekkäitä. Nykyisten veneiden käyttö on hyvin rajallista johtuen aiheutuneesta melusaasteesta, johon halutaan saada vähennystä sähkömoottorin avulla. Kilpailutoiminta sekä harjoittelu on hankalaa, koska melun takia rantojen omistajat eivät halua veneitä alueilleen. Sähkömoottorin etuihin kuuluu myös se, että siitä saa täydet tehot irti heti aluksi eikä vasta muutaman sekunnin kuluttua kuten bensiinikäyttöisestä moottorista. Bensiinimoottori tuottaa myös päästöjä joita ei sähkömoottoria käytettäessä muodostu.

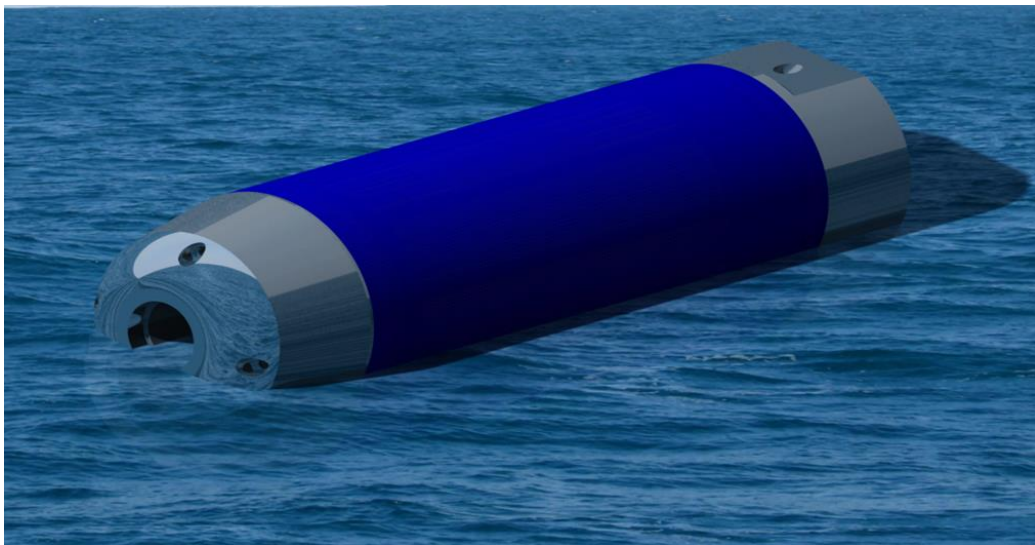
Metropolia AMK:n kone- ja tuotantotekniikan opiskelijat suunnittelevat ja toteuttavat moottorin. Siitä tehdään erillinen raportti, joten se rajautuu tämän työn ulkopuolelle.

Tässä työssä keskitytään akun valintaan, sekä myös turvallisuusnäkökohtiin. Turvallisuusnäkökohdat ovat erityisen tärkeitä, koska kyseessä on vedessä toimiva sähkölaite, joka on tarkoitettu junioreille (alle 16 vuotta). Veneen käytön täytyy olla mahdollisimman yksinkertaista, koska ei voida olettaa, että he osaavat varoa kaikkia sähköön aiheuttamia vaaroja.

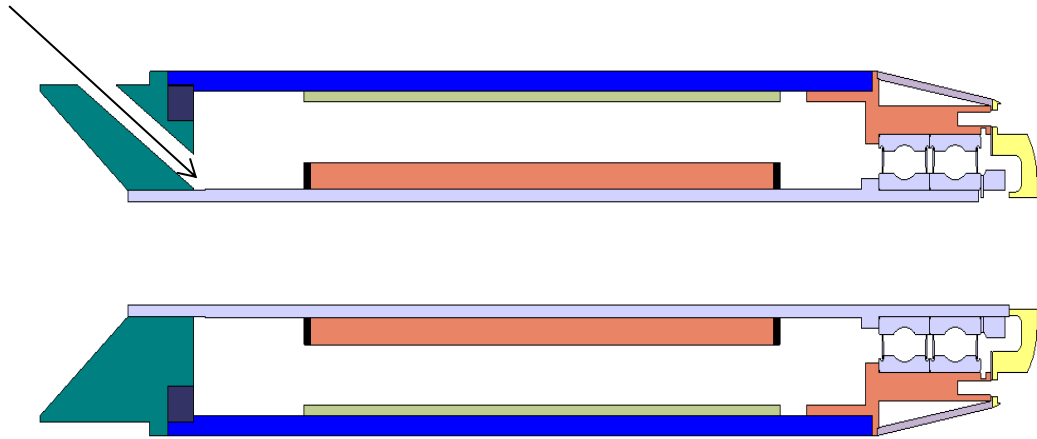
2 Esittely

Formulaveneen suunnitelman on tilannut opettaja Jari Savolainen. Moottorin mitoituksen ja laskelmat on tehnyt Lappeenrannan Yliopiston professori Juha Pyrhönen. Moottorista tulee teholtaan 10 – 20kW.

Näiden laskelmien pohjalta Metropolia AMK:n kone- ja tuotantotekniikan opiskelijat suunnittelevat turbiinimoottorin formulaveneen pohjaan kiinnitettäväksi. Moottorista tulee ontto eli vesi virtaa moottorin läpi, joten moottorin lämpenemisellä ei ole merkitystä sen mitoituksessa.



Kuva 1. Tietokonekuva suunnitellusta moottorista [7]



Kuva 2. Moottorin kaaviokuva, sähkösyötön paikka vasemmassa yläreunassa [7]

Moottori kiinnittyy formulaveneen pohjaan kahdesta (2) kohdasta: perästä, josta moottori saa sähkösyöttönsä kiinnitysputken kautta ja etuosasta tuomaan vakautta, jotta moottori pysyisi oikeassa asennossa.

Veneen virtalähteenä toimivat akut. Akkujen hankinnasta vastaa työn tilaaja, joka on myös hankkinut käytettävän invertterin (tasasähkö vaihtosähkö-muuntimen) etukäteen.

3 Sähkökäyttöinen formulavene

Formulaveneillä kilpaillaan junioriluokassa Sj-15 eli kuljettajat ovat 8 – 15 -vuotiaita nuoria. Nämä Speedrace veneet ovat teholtaan 15 hv. Niissä on voimanlähteenä vakio perämoottorit. [10]

Sähkökäyttöiset formulaveneet eivät voi kilpailla bensiinikäyttöisiä vastaan, koska ominaisuudet ovat erilaiset.

Kun sähkökäyttöisiä formulaveneitä saadaan viisi (5) samanlaista, niin niille voidaan luoda oma kilpailuluokka.

4 Merilainsäädännön asettamat vaatimukset

Merilainsäädännössä on käynnistystä, pysäyttämistä, hätäpysäyttämistä, suojausta, turvalaitteita ja akkujen turvallisuutta koskevia säännöksiä, joita on syytä noudattaa formulavenettä rakennettaessa.

Lain 12.6.2008/400 § 14 liite I ”Koneen suunnittelua ja rakentamista koskevat olennaiset terveys- ja turvallisuusvaatimukset” vaatimuksena vesiliikenteessä oleville laivoille ovat seuraavat:

Ohjausjärjestelmien turvallisuus ja toimintavarmuus 1.2.1. & Tehonsyötön häiriöt 1.2.6.

- kone ei saa käynnistyä odottamattomasti
- koneen pysähtymistä ei saa estää, jos pysäytyskäsky on annettu
- mikään koneen liikkuva osa tai koneen kiinni pitämä kappale ei saa pudota tai sinkoutua
- minkään liikkuvan osan automaattinen tai käsikäyttöinen pysäyttäminen ei saa estyä
- turvalaitteiden on pysyttävä täysin toimintakykyisinä tai annettava pysäytyskäsky

Normaali pysäytys 1.2.4.1.

- Koneessa on oltava ohjauslaite, jolla se voidaan turvallisesti pysäyttää kokonaan
- Koneen pysäytyslaitteen toiminnan on oltava ensisijainen käynnistyslaitteiden toimintaan nähden
- Kun kone tai sen vaaralliset toiminnot ovat pysähtyneet, energiansyötön asianomaisiin toimilaitteisiin on katkettava

Hätäpysäytys 1.2.4.3.

Hätäpysäytyslaitteen on:

- oltava varustettu selvästi tunnistettavilla ja näkyvillä ohjaimilla, jotka ovat nopeasti käytettävissä
- pysäytettävä vaarallinen prosessi mahdollisimman nopeasti aiheuttamatta muita riskejä
- tarvittaessa käynnistettävä tiettyjä suojausliikkeitä tai sallittava niiden käynnistäminen

Hätäpysäytyslaitteiden on oltava muita suojausteknisiä toimenpiteitä täydentävä keino eikä niiden korvaaja.

Suojuksilla ja turvalaitteilta vaadittavat ominaisuudet 1.4.

Suojausten ja turvalaitteiden on:

- oltava rakenteeltaan kestäviä
- pysyttävä lujasti paikallaan
- oltava sellaisia, ettei niistä aiheudu lisävaaraa
- oltava sellaisia, ettei niitä ole helppo ohittaa tai tehdä toimimattomiksi
- sijaittava riittävällä etäisyydellä vaaravyöhykkeestä
- sallittava työkalujen asettamisen tai vaihtamisen sekä kunnossapidon edellyttämät toimet rajoittamalla pääsyä vain kohtaan, jossa tämä työ on tehtävä.

Kiinteät suojukset 1.4.2.1.

- Kiinteiden suojusten kiinnitysjärjestelmän avaaminen tai irrottaminen saa olla mahdollista vain työkaluilla.

Sähkönsyöttö 1.5.1.

- Kone, jossa on sähkönsyöttö, on suunniteltava, rakennettava ja varustettava siten, että kaikki sähköstä johtuvat vaarat estetään tai voidaan estää.

Tulipalo 1.5.6.

- Kone on suunniteltava ja rakennettava siten, että vältetään palo- ja ylikuumenemisriskit, joita itse kone tai siinä tuotetut tai käytetyt kaasut, nesteet, pöly, höyryt tai muut aineet aiheuttavat.

Erottaminen energialähteistä 1.6.3.

- Koneessa on oltava laitteet, joilla se voidaan erottaa kaikista energialähteistä. Näiden erotuslaitteiden on oltava selvästi tunnistettavissa. Ne on voitava lukita, jos energialähteeseen uudelleen kytkeminen voi aiheuttaa vaaran henkilöille. Erotuslaitteet on voitava lukita myös silloin, kun käyttäjä ei voi mistään sellaisesta paikasta, johon hänellä on pääsy, tarkistaa, että energiansyöttö on edelleen katkaistuna.

Suojaaminen muilta vaaroilta

Akut 3.5.1.

- Akkukotelo on suunniteltava ja rakennettava siten, että estetään elektrolyytin roiskuminen käyttäjän päälle koneen kaatuessa ympäri tai sivulle ja höyryjen kerääntyminen paikoille, joissa on koneen käyttäjiä.
- Kone on suunniteltava ja rakennettava siten, että akku voidaan kytkeä irti koneen virtapiireistä helposti tavoitettavalla tähän tarkoitukseen tarkoitettulla laitteella. [8]

5 Sisävesilain säädännön asettamat vaatimukset

Sisävesilain pykälistä ei löydy formulavenettä, mutta sieltä löytyviä säännöksiä esimerkiksi päästö- ja melusaasteista voidaan soveltaa myös formulaveneisiin. [9]

Sisävesilain kilpavenepykälä koskee lähinnä kilpasoutuveneitä ja harjoitussoutuveneitä.

Sisävesilain huvivenesäännöstö koskee bensiinipolttomoottorikäyttöisiä tai dieselpolttomoottorikäyttöisiä aluksia.

6 Suunnittelu

6.1 Lähtökohta

Suunnittelu aloitetaan siitä mitä formulaveneessä on pakko olla mukana ja mitä olisi hyvä olla.



Kuva 3. Periaatekuva rakenteesta

Formulaveneen sähköistyksen periaate on hyvin yksinkertainen. Virta tulee akuista ja invertteri muuttaa tasajännitteen vaihtojännitteeksi sähkömoottorille. (Kuva 3.)

6.2 Akun valitseminen

Kyseessä on formulavene, joten akkujen pitää pystyä purkautumaan nopeasti ja tasaisesti ilman virran alenemaa. Akkujen nopea latautuminen on myös hyvä ominaisuus.

Tiedetään, että kilpailu kestää noin 13 minuuttia, mutta moottoria pitää pystyä käyttämään noin 20 minuuttia.

Alla laskettu tarvittavan akun teho:

$$20\text{min} * (10\text{kW}/12\text{V}) = x \text{ Ah}$$

$$20\text{min} * 10\text{kW} = 12\text{V} * x \text{ Ah} * 3600\text{s}$$

$$\Rightarrow x = (20\text{min} * 60\text{s} * 10\text{kW}) / (12\text{V} * 3600\text{s}) = 278\text{Ah}$$

Normaalikokoisten akkujen jännite on 12 V ja niitä voidaan laittaa formulaveneeseen kaksi (2) kappaletta. Näin veneen paino saadaan jakaantumaan tasaisemmin sekä

virta riittämään paremmin starttaamiseen varsinkin kun moottorin teho tulee olemaan 10 – 20 kW (13,6 – 27,2 hv).

Tehot ilmoitetaan usein vieläkin hevosvoimina (saksalainen hevosvoima):

$$1\text{hv} = 75\text{kpm/s} \approx 735,5\text{W}$$

$$\rightarrow 10\text{kW} / 735,5\text{W} = 13,6\text{hv}$$

$$\rightarrow 20\text{kW} / 735,5\text{W} = 27,2\text{hv}$$

6.3 Akkutyypit

Erilaiset akkutyypit ja niiden ominaisuuksia.

6.3.1 Nikkeli-kadmiumakku (NiCd)

Nikkeli-kadmiumakku (NiCd) keksittiin alun perin vuonna 1899 joten kyseessä ei ole mikään uusi keksintö. Suljettu NiCd-akku patentoitiin jo 1930-luvulla. Tätä akkutyyppiä ei saa enää käyttää EU sääntöjen mukaan kuluttajatuotteissa 2009 syksyn jälkeen kuin erikseen ilmoitetuissa käyttökohteissa, koska kadmium (Cd) on ympäristölle ja ihmisille erittäin myrkyllistä.

Kestoiältään NiCd-akku on pitkä ja virranantokyky on suuri. Tätä akkua käytetään paljon käsityökaluissa, esimerkiksi porakoneet. Suljettuja NiCd-akkuja valmistetaan masatekniikalla (nappiparistot) ja sintraustekniikalla (sylinterimäiset kennot). NiCd-akku kestää hyvin suuria lämpötilan vaihteluita, väärinkäyttöä (esimerkiksi yllilatausta ja syväpurkausta) eikä vahingoitu vaikka olisi tyhjänä useita päiviä.

Ennen ensimmäistä käyttökertaa NiCd-akkua pitää ladata kauan, koska siitä ei uutena saa täyttä kapasiteettiä käyttöön. Täydet ominaisuudet saa käyttöön vasta 2 – 3 lataus- ja purkauskerran jälkeen. Oikein käytettynä NiCd-akku on pitkäikäinen ja kestää 800 – 1000 latausta.

Pikalataus onnistuu noin tunnissa jos lämpötila pysyy 5 – 45°C välissä. Kylmemmässä ja kuumemmassa akun koko kapasiteettia ei saa ladattua ja varausaikakin on pidempi (noin 10 h).

NiCd-akkujen huono puoli on niin sanottu muisti-ilmiö. Jos NiCd-akun varausta ei pureta kokonaan ja se ladataan uudestaan niin, ettei koko akun varaus ole kulunut, jää akun muistiin taso, jonka alle se ei enää purkaudu. Näin ollen koko akun kapasiteettiä ei saada käyttöön. Tällaisia olivat esimerkiksi vanhojen kännyköiden akut.

NiCd-akkua voi säilyttää käyttämättä jopa 5 vuotta, kunhan sen aina välillä lataa ja purkaa. Nykyään suositaan uuden polven litium-polymeeriakkuja, joiden purkuvirta voi olla jopa 16 A ja ne korvaavat perinteiset NiCd-akut. [1]

6.3.2 Nikkelimetallihybridi-akku (Ni-MH)

Nikkelimetallihybridi-akku (Ni-MH) kehitettiin 1970-luvulla ja markkinoille ne tulivat 1980-luvulla.

Ni-MH-akulla on suurempi kapasiteetti, mutta lyhyempi kestoikä kuin NiCd-akulla.

Huonona puolena on pienempi virranantokyky kuin NiCd-akulla ja suuri itsepurkaus. Ni-MH-akku purkaa itsestään noin 20% kuukaudessa ilman käyttöäkin. Pakkasella Ni-MH-akku ei pysty antamaan ulos virtaa yhtä paljon kuin NiCd-akku.

Ni-MH-akku kehittää lämpöä latauksessa ja minimilatausaika on tunti. Latauslämpötilaksi suositellaan 10 – 45°C, kylmemmässä akun kennojen sisäinen paine nousee haitalliseksi. [1]

Ni-MH-akku varastoidaan ladattuna. Mikäli akku on ollut käyttämättä kauan, on akun varaus hyvä purkaa ja ladata se uudestaan ennen seuraavaa käyttökertaa. Parin viikon säilytyksessä akun varaustaso voi olla 20 – 30%, mutta jos sitä varastoidaan pidempään kannattaa akku ladata täyteen.

Tällä hetkellä Ni-MH-akkuja valmistetaan vain pienkoneiden virtalähteiksi, niin ollen ne eivät ole käytännöllinen valinta veneen virtalähteeksi. Näistä akuista saa irti vain mAh kapasiteetteja, joten näitä pitäisi laittaa veneeseen satoja.



Kuva 4. Ansmannin NiMH-akkuja [2]

6.3.3 Litiumioniakku (Li-ion, Lilon)

Litiumakku kehitettiin jo 1980-luvulla, mutta epävakaina ne olivat vaarallisia. Markkinoille Li-ion-akku tuli 1991. Litium on metalleista kevyin ja akun kapasiteetti on kaksinkertainen painoon nähden NiCd-akkuun verrattuna. Latausaika voi olla jopa alle tunti.

Pakkasessa Li-ion-akku menettää tehoa Ni-MH-akun tavoin.

Muisti-ilmiötä Li-ion-akulla ei ole ollenkaan ja kapasiteetti ei laske ladattiin akkua miten täytenä tahansa.

Li-ion-akku ei kuitenkaan siedä yllilatausta. Silloin se muuttuu kuumaksi ja kehittää painetta. Yleensä Li-ion-akuissa on suojapiiri joka estää yllilatautumisen. Sama piiri myös säätelee latausvirran tasoa. Aluksi akun ollessa tyhjä latausvirta on suurempi ja tietyn jännitetasen ylitettyä latausvirta pienenee kunnes akku on täysi. Ilman suojapiiriä Li-ion-akku on vaarallinen ladata, koska se voi räjähtää. LiRePO₄-litiumakut ovat hieman turvallisempia kuin muut Li-ion-akut.

Li-ion-akkua ei saisi koskaan päästää ihan tyhjäksi. Säilytyksessä Li-ion-akussa pitää olla 70 – 90 % varaus ja jos jännite putoaa säilytyksen aikana liian alhaiseksi (alle 2,5 Volttiin kolmeksi kuukaudeksi) ei Li-ion-akkua voi enää herättää henkiin. Li-ion-akku vanhenee, vaikkei sitä käytettäisikään. [1]



Kuva 5. A123Systems:n akku [2]

Formulaveneen sähköistyksen kannalta näiden akkujen huono puoli on siinä, että kyseiset akut eivät ole vielä riittävän tehokkaita niiden käyttöön. Näitä voidaan kytkeä 4 sarjaan ja 10 rinnan ja silti ominaisuudet ovat vain 46A/48V. (Kuva 5.)

6.3.4 Litiumpolymeeriakku (LiPo)

Litiumpolymeeriakku (LiPo) on arvoiltaan hieman parempi kuin Li-ion-akku, mutta sillä on huomattavasti lyhyempi elinikä. Li-ion-akkua voi käyttää jopa kolme (3) vuotta kun LiPo-akkua vain puoli vuotta. [1]

6.3.5 Lyijyakku

Lyijyakku on ensimmäinen myyntiin tullut akkutyyppe (1859) ja se on edelleenkin käytössä autoissa ja työkoneissa kuten trukeissa eli paikoissa joissa tehontarve on pieni ja joihin akun voi laittaa pystyasentoon.

Lyijyakut ovat kehittyneet niin, että akkuhappoon on lisätty silikaattia (piitä) joten neste on geelimäistä eikä niin roiskuvaa kuin alkuperäisessä versiossa. Akkujen rakenne on myös muuttunut suljetuksi (VRLA-akut). Akun vanhetessa ja nestepinnan aletessa kennoihin voi vieläkin lisätä akkuhappoa.

Akun täyttäminen on hidasta, koska jokainen kenno pitää täyttää erikseen. Tästä aiheutuu helposti yli- tai alitäyttöä. Hapon epätasaisuus heikentää akun suorituskykyä ja käyttöikää.

Lyijyakut ovat painavia ja niiden energiatehokkuus on pieni joten se rajaa käyttötarkoitusta. [1 & 18]

6.3.6 Suljettu lyijyakku (VRLA-akku)

Perinteisesti lyijyristikot on valettu. Uudempaa tekniikkaa on tehdä venytettyjä ristikoita joihin kiinnitetään aktiivinen materiaali ja päälle sivellään lyijyä. Kuivatuksen jälkeen nämä ristikot varataan joko positiivisiksi tai negatiivisiksi levyiksi, joita kasataan vuoroitellen akkuun.

AGM-akussa valetut ristikot erotetaan toisistaan lasikuitukankaalla perinteisen polyeteenierottimen sijaan. Elektrolyytit on imeytetty lasikuitukankaaseen. Tästä johtuen akut ovat tehokkaampia. AGM-akut ovat vuotamattomia.

AGM-akut toimitetaan valmistajalta kuivana. Akun käyttöikä alkaa vasta kun se täytetään ja ladataan. Akun mukana tulee happopatruunapakkaus jolla käyttäjä tai kauppias voi nopeasti täyttää akun. Kun patruuna on tyhjä, akun korkki laitetaan paikoilleen ja kansi sinetöityy tiiviiksi. Happo imeytyy lasikuitukankaaseen ja akku on valmis varattavaksi ja käytettäväksi.



Kuva 6. Optima Batteriesin lyijyakkuja [2]

Optima Batteries valmistaa lyijyakkuja myös merikäyttöön (keltakantiset akut, (Kuva 6.)), joten sellaiset sopisivat hyvin formulaveneeseenkin. Optima batteriesin akuissa kennot on toteutettu pyörövaluna perinteisen levytekniikan sijasta. Näin on saatu aikaiseksi täysin huoltovapaa, suljettu ja tärinän kestävä rakenne. Haittapuolena näissä akuissa on kapasiteetin rajallisuus. Suurimmassa markkinoilla olevassa on 75Ah ja painoa silti 26,5kg. [2 & 18]

6.4 Akun valitsemiseen vaikuttavia seikkoja

- latausaika
- jännitteen alenema eli virrananto
- paino
- luotettavuus ja elinikä
- hinta

Kyseessä on formulavene joten akun pitää pystyä purkautumaan nopeasti ja tasaisesti ilman virran alenemaa ja nopeasta latautumisestakaan ei ole haittaa.

- Avonaista lyijyakkua ei voi ajatellakaan, koska ne eivät ole kovin tehokkaita. Painavina ja asentorajoitteisena ne eivät siedä kovin suuria kallisteluja.
- Suljettujen akkujen etuna on huoltovapaus, koska niihin ei tarvitse lisätä nestettä (akkuvettä) tehtaalta lähtemisen jälkeen. Lisäksi niiden asennus on helpompaa ja ne kestävät kallisteluja eri asentoihin.
- Geeliakut ja hyytelöakut toimivat parhaiten vaativissa olosuhteissa. Ne kestävät parhaiten nopeita virranpurkauksia ja virranlatauksia.

Näistä vaihtoehtoista geeliakut täyttävät vaadittavat ominaisuudet parhaiten, koska ne ovat huoltovapaita ja asennolla ei ole vaikutusta virranantotehoon.

Kohdan 3.2 laskun perusteella tiedetään, että tehon pitää olla 278Ah.

Tähän vertailuun valittiin eri merkeiltä parhaat vaihtoehdot vaikkakaan kaikki akut eivät täytä vaadittua 278Ah.

Kuvastoista löytyi seuraavat kovaan merikäyttöön suunnitellut vaihtoehdot:

- Varta Professional LAD260 (12V/260Ah)
AGM-akku
koko: 521mm*269mm*240mm
paino: 78,2kg
hinta: £504,00 (612,95€) [20]



Kuva 7. Varta Professional LAD260

- Haze Marine HZY-MR-230 (12V/245Ah)
Geeli-akku
koko: 521mm*270mm*205mm
paino: 74,5kg
hinta: 4794NOK (582,20€) [21]



Kuva 8. Haze Marine HZY-MR-230

- Lifeline GPL-8DL Deep Cycle Marine Battery (12V/255Ah)
AGM-akku
koko: 527,4mm*276,6mm*219,5mm
paino: 70,80kg
hinta: 499,00\$ (359,70€) [22]



Kuva 9. Lifeline GPL-8DL Deep Cycle Marine Battery

- Lifeline LL 1257TB Racing Battery (12V/1500Ah)
AGM-akku
koko: 248,4mm*126,2mm*175,5mm
paino: 14,06kg
hinta: 268,95\$ (196,36€) [23]



Kuva 10. Lifeline LL 1257TB Racing Battery

Kaikilla akuilla on hyviä ominaisuuksia, mutta kun otetaan huomioon käytettävyys ja kestävyys niin kovaan ammattikäyttöön tarkoitettu Lifeline kilpa-akku on paras vaihtoehto. Se on kehitetty USA:n armeijan käyttöön, joten se on hyvin testattu ja toimintavarmaksi todettu. Siinä akunnavat ovat tappimaiset, joten kaikki muut akkuun liitettävät laitteet on helppo kytkeä paikoilleen pujottamalla johdot tappiin ja kiristämällä mutterit kiinni.

6.5 Akut ja akujen varaaminen

Kyseinen formulavene on suunniteltu toimivan kahdella (2) akulla. Akkujen kapasiteeteiksi riittäisi 278Ah, mutta jos valitaan Lifelinen 1500Ah akku, niin sen käyttöaika on pidempi kuin vaadittu 20 minuuttia.

Latauksen ajaksi ei ole välttämättä järkevää ottaa akunkenkiä irti vaan laittaa formulavene latautumaan kiinteän johdon avulla. Tällä estetään myös se, ettei varauksen napaisuus mene väärinpäin ja akunkenkien kiinnitykset pääse pyöristymään. Samalla myös estetään tahattomat sähköiskut työkalujen kautta kuten myös mahdolliset oikosulut työkalujen lipsahtaessa akunnavasta toiseen.

Lataukseen tulisi käyttää jo valmiina markkinoilla olevia latausjohtoja. Näin säästetään tekemisen vaiva ja mahdollinen latausjohdon rikkoontuminen olisi myös helppo korjata vaihtamalla se uuteen.



Kuva 11. Ctekin laturi MXTS 70/50 [6 & 16]

Jos valitaan Lifelinen 1500Ah akku/akut, niin laturilta vaaditaan myös tarvittava latauskapasiteetti. Nämä ominaisuudet omaa esimerkiksi Ctekin laturi MXTS 70/50. Laturin latausalue on 20 – 1500Ah. Laitteen diagnostiikka tunnistaa akun tilan eli pystyykö akku vastaanottamaan ja ylläpitämään varausta, lisäksi lämpötila-anturi varmistaa parhaan lataustuloksen saamisen.

Kyseisessä laturissa on näyttö, josta voi seurata latauksen edistymistä: latausvirtaa (A), latausjännitettä (V), latausaikaa (h) ja ladatun energian määrää (Ah).

Laturin voi ohjelmoida käyttämään haluttua latausvirtaa tai jännitettä. Sisäänrakennetun USB-portin kautta voi päivittää laitteen ohjelmiston.

Lisäksi laitteessa on kipinä-, vääränapaisuus- ja oikosulkusuojaus.

Laite itsessään ei ole vesitiivis. Jos laturi asennetaan kiinteästi formulaveneeseen, pitää se asentaa vesitiiviiseen laatikkoon. Vaihtoehtoinen tapa on kytkeä latausjohdot valmiiksi kiinni akunnapoihin ja yhdistää erillinen laturi johtoon latauksen ajaksi. Laturi painaa 3,3kg joten on hyvä miettiä halutaanko ylimääräistä painoa kantaa mukana kilepailussa. Jos laturi pidetään mukana, sille käy samanlainen laatikko kuin akuillekin.

6.6 Invertteri

Invertterin käyttötarkoitus on muuttaa akusta tuleva 12V syöttö moottorin vaatimaksi 150V. Vaihejännitteeksi tulee silloin 89V vaihetta kohti.

Inverttereitä on kolmea erilaista perustyyppiä: kanttiaalto, modifoitu siniaalto ja siniaalto. Yleensä inventterit muuttavat jännitteen toiseksi yksivaiheiseksi jännitteeksi. On myös olemassa inverttereitä, jotka muuttavat yksivaiheisen (1~) jännitteen kolmivaiheiseksi (3~) jännitteeksi. Nämä invertterit sopivat hyvin formulaveneeseen, koska akuista saadaan yksivaiheinen jännite, mutta moottori tarvitsee toimiakseen kolmivaiheisen jännitteen.

Formulavenettä varten hankitun invertterin (PowerMaster 250) valmistajalta ei saatu vahvistusta muuntaako se yksivaiheisen jännitteen kolmivaiheiseksi ja vaatiiko se kenties korkeampaa syöttöjännitettä kuin akuista saatavan 12V.

Mikäli tarvittava syöttöjännite on korkeampi, täytyy akun ja invertterin väliin laittaa muuntaja, toinen invertteri tai hakkuri muuntamaan syöttöjännite oikean suuruiseksi. Jos päädytään toiseen invertteriryhmään, täyttää YES Powerin invertteri kaikki tarvittavat vaatimukset. Tämä kyseinen invertteri tuottaa 1500W tehon koko ajan ja hetkellisesti huipputehona 3500W tehon. Moottori tarvitsee 10kW tehon jatkuvasti ja yliohta-

uksessa ehkä jopa 20kW tehon. Jotta tarvittavat tehot saavutettaisiin, pitäisi näitä inverttereitä kytkeä rinnan 15 kappaletta. Haittapuolena on paino jota tulee 82,5kg. Nämä invertterit eivät ole vesitiiviis joten ne vaativat asennuslaatikon (395mm*240mm*90mm / kpl *15/kpl) [28]

Kaikki nämä invertterit (YES Power) tarvitsevat omat tasasuuntaussiltansa. Tähän tarkoitukseen käy esimerkiksi 35A 600V tasasuuntaussilta.



Kuva 12. YES Powerin invertteri 12V_{DC}/230V_{AC}:1500W [28]

Jos invertteri (PowerMaster) ei muuta yksivaiheista syöttöä kolmivaiheiseksi, on mahdollista kytkeä moottori 6-johtimiseksi jolloin sen voi kytkeä suoraan yksivaiheiseen syöttöön. Silloin kytkentä vaatii 10 – 20 µF käyntikondensaattorin antamaan käynnistysmomenttia.

Formulaveneen invertteri (PowerMaster 250) on vektoriohjaava. Se pystyy tuottamaan 750V maksimijännitteen, moottorin käyttöjännitteeksi on ilmoitettu 150V. Moottori tarvitsee 200Hz taajuuden toimiakseen ja invertteri pystyy tuottamaan 1000Hz. [26 & 27]

7 Asennustarvikkeet

7.1 Akkulaatikko

Akut kannattaa laittaa formulaveneessä omiin laatikoihinsa. Tämä lisää käyttövarmuutta sekä turvallisuutta, jos veneeseen jostain syystä pääsee vettä sisälle. Johdot tulevat ja menevät laatikoissa läpimenotiivisteiden läpi, joten akut pysyvät kuivina kaikissa tilanteissa. Lisäksi laatikoiksi kannattaa valita avaimella lukittavat versiot. Jos valitusta laatikosta ei ole olemassa lukittavaa versiota, voi lukituksen tehdä helposti itse tekemällä pannan laatikon ympärille ja laittamalla siihen riippulukkoa varten reiät. Näin saadaan lisää turvallisuutta ja estetään utelioiden vahingot akuille ja heille itselleen. Samalla vaikeutetaan myös mahdollisten varkaiden aikeita.



Kuva 13. Smart Boxin akkulaatikko [3]

7.2 Akkujen varaustason näyttö

Formulavene toimii akkujen voimalla, joten kuljettaja tarvitsee tietoa akkujen varaustasosta. Tätä varten on olemassa viisarillisia ja digitaalisia osoittimia. Kummallekin akulle tarvitaan oma näyttönsä.



Kuva 14. Victron BMV 600S akkumonitori [4 & 17]

Victron valmistaa akkumonitoria, versio BMV 602S, joka näyttää kahden (2) akuston virrat ja jännitteet yhdessä näytössä. Laitteeseen on mahdollista ohjelmoida hälytykset varoittamaan matalasta akkukapasiteetista.

Laitteen hyviin ominaisuuksiin kuuluu myös se, että sen oma kulutus on vain 4mA, joten se ei kuormita akkuja. Monitorin erottelukyky virralle on 0,01A ja tarkkuuskin +/- 0,3% ja jännitteelle erottelukyky on 0,01V ja tarkkuus +/- 0,4%. Laitteen paino on 300g. [4]

7.3 Akkujen virran hätäkatkaisin

Formulaveneessä tulee olla virransyötön hätäkatkaisu. Paras syötönkatkaisukohta on heti akkujen jälkeen ennen invertteriä. Tällä estetään myös se, etteivät akut pura varustaan invertterin tai moottorin kautta kytkentävian tai muun syyn takia. Helpoin ja turvallisin keino virran hätäkatkaisuun on samanlainen painike kuin nykyisin on käytössä kaikissa sähkökäyttöisissä laitteissa.



Kuva 15. Hätä-seis-painike kierrettävää mallia [5]

Paras vaihtoehto hätä-seis-painikkeelle on kierrettävä malli. Siitä toiminnon näkee heti. Kun nappi on ylhäällä niin kaikki toimii ja kun nappi on alhaalla on virtapiiri poikki. Hätä-seis-painike on helppo kytkeä painamalla sitä hieman alaspäin ja kääntämällä samalla hieman oikealle jolloin nappi vapautuu ylä-asentoonsa. Tämän jälkeen virtapiiri on taas kytketty päälle, mutta kuitenkin niin, että pitää kone startata uudestaan.

Kyseinen malli tarvitsee 22mm halkaisijaltaan olevan reiän asennusta varten. Paneelin tarvitaan tilaa 40mm * 47mm * 82mm (l*k*s). Kyseinen hätä-seis-painike sopii hyvin formulaveneeseen, koska se on suunniteltu märkiin olosuhteisiin (IP66). [5]

7.4 Virtalukko

Virtalukko tarvitaan antamaan starttikäsky moottorille. Samalla turvallisuus paranee, koska ulkopuoliset eivät pääse käynnistämään formulavenettä ilman avaimia.



Kuva 16. Virtalukko [14]

7.5 Jakorasia ja liitinrima

Jakorasiaan tulee johto moottorilta. Jakorasian sisälle laitetaan liitinrima johon johto kytketään kiinni. Moottori tilataan valmistajalta metrin (1m) mittaisella liitäntäjohdolla. Kiinteän liitäntäjohdon ansiosta moottorin sähköliitäntä saadaan vesitiiviiksi moottorin päässä ja formulaveneeseen saadaan samalla kytkentävaraa. Ohjaus moottorille tulee invertteriltä, jota ohjaa kaasukahva.



Kuva 17. ABBn jakorasia AP9 (IP65) [15]



Kuva 18. Liitinrima, 6 osainen [19]

7.6 Kaapelin läpivienti

Kaapelien läpivientiin tarvitaan vesitiiviit läpivienteihin tarkoitetut reiät. Näitä käytetään kaikkien johtojen läpivienneissä laatikosta toiseen. Reikiä on saatavilla erikokoisina, tässä työssä valitut reiät ovat halkaisijaltaan 17mm.



Kuva 19. Blue Sean kaapelin läpivienti [11]

7.7 Johdonsuojakatkaisija

Virtapiiriin on hyvä laittaa johdonsuojakatkaisija varmistamaan, etteivät jännitepiikit pääse rikkomaan akkuja. Lämpöön ja magneettisesti reagoiva johdonsuojakatkaisija toimii parhaiten. Johdonsuojakatkaisija pitää laittaa vesitiiviiseen rasiaan esimerkiksi ABBn AP9.



Kuva 20. ABBn johdonsuojakatkaisija STOTZ S201-C63 [13]

7.8 Vikavirtasuojakytkin

Virtapiiriin on hyvä laittaa vikavirtasuojakytkin invertterin ja moottorin väliin suojaamaan virtapiikeiltä. Vikavirtasuojakytkin on toiminnaltaan nopeampi reagoimaan vikatilanteisiin kuin sulake. Kyseinen kytkin tarvitsee jakorasian vesitiiviiden takia. Esimerkiksi ABBn AP10 sopii hyvin.



Kuva 21. ABBn vikavirtasuojakytkin F204A-63/0,03 4NAP 63A/30mA [25]



Kuva 22. ABBn jakorasia AP10 (IP55) [15]

8 Turvallisuus

Merilainsäädäntö määrää sen millaisia sähköisiä komponentteja veneissä voi käyttää. Akkujen pitää olla hyväksytty laivakäyttöön (ruorin kuva etiketissä). Vesitiiviys valituissa komponenteissa on vähintään IP44, suurimmassa osassa IP65.

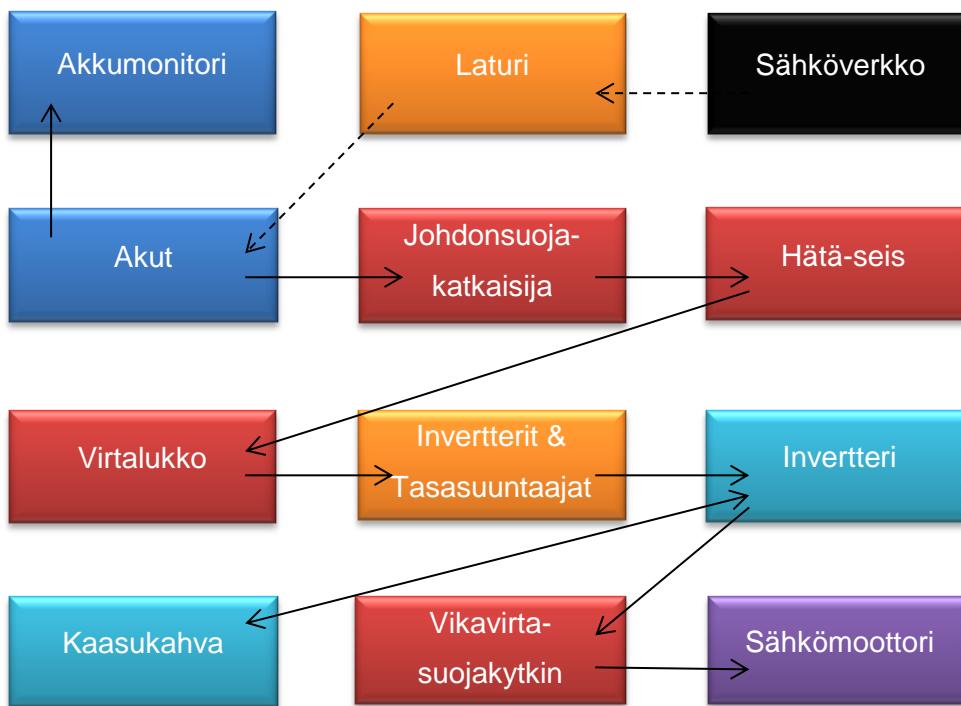
Hätä-seis-painike vaaditaan sähkökäyttöiseen laitteeseen.

Formulavene toimii sähköllä, joten kaikkien kytkentöjen ja laatikoiden pitää olla vedenkestäviä. Johtojen läpiviennit laatikoihin toteutetaan vesitiiviiden reikien avulla.

Vikavirtasuojakytkin suojaa moottoria ja invertterin aiheuttamilta vikavirroilta ja toisaalta taas invertteriä moottorin aiheuttamilta vikavirroilta.

9 Periaatekaavio

9.1 Toiminta periaate



Laturi kytketään sähköverkkoon ja se lataa akut. Laturissa on oma turvatekniikkansa lataukseen, joka pitää huolen turvallisesta latauksesta.

Akkumonitorin näytöstä voi katsoa valittavana olevan akun jännitteen ja virran.

Johdonsuojakatkaisija suojaa virtapiirin häiriöiltä moottoria.

Hätä-seis-painike katkaisee virtapiirin nopeasti hätätilanteessa ja lukittuu seis-asentoon.

Virtalukosta käynnistetään moottori. Hätä-seis-painike ohittaa virtalukon avaimen asennon vikatilanteessa sammuttaen moottorin.

Ensimmäinen jännitettä nostava, invertteriryhmä (YES Power) muuntaa akuista tulevan 12V tasajännitteen invertterille 230V vaihtojännitteeksi, jonka toinen, ohjaava invertteri (PowerMaster) muuttaa moottorin tarvitsemaksi 150V kolmivaihejännitteeksi.

Kaasukahvan asento ohjaa invertterin kautta kulkevaa jännitettä moottoriin, jossa formulaveneen nopeutta säätelevä kierrosluku vaihtuu.

Invertterin jälkeen ennen moottoria on vikavirtasuojakytkin suojaamassa moottoria invertterin aiheuttamilta vikavirroilta ja toisaalta taas suojaamassa invertteriä moottorin aiheuttamilta vikavirroilta.

10 Loppuyhteenveto

Tässä työssä keskityttiin sähköihin ja sähköturvallisuuteen.

Näillä tässä työssä valituilla komponenteilla saa aikaan kohtaisen formulaveneen.

Formulaveneeseen tulee valtavasti painoa, koska tarvitaan monta akkua ja invertteriä. Ongelmaksi muodostuu kelluvuus ja sitä myöten myös veneen nopeus – painava vene ei voi olla kovin nopea. Pahimmassa tapauksessa formulaveneen sijasta saadaan aikaiseksi sukellusvene.

Koska sähkövene on tekemisessä veden kanssa, joudutaan kaikki komponentit koto-loimaan vedenpitäviin laatikoihin. Jos oletetaan, että kaikkien komponenttien hyötysuh-de olisi 98 %, niin silloin syntyy hukkalämpöä 200 – 400W laatikolta. Laatikoista pitää pystyä jotenkin johtamaan lämpö ulos. Se pitää ottaa huomioon moottoria suunnitelles-sa ja rakentaa jäähdytysjärjestelmä formulaveneeseen kuitenkin niin, ettei mahdolli- sessa vesijäähdytyksessä synny kondensiota laatikoihin.

Aikataulun puitteissa ei saatu valmistajalta tietoa invertteristä, joten tässä työssä ei käsitellä ohjelmointia. Kaasukahvan valinta jää myös ohjelmoinnin tekijälle.

Lähteet

1. <http://fi.wikipedia.org/wiki/Akku>
2. <http://www.flinkenberg.fi>
3. <http://www.impactbattery.com/smart-marine-battery-box.html>
4. http://www.greenfuture.fi/product_info.php?cPath=31&products_id=85
5. <http://www.taloon.com/hata-seis-painike-xb4bs8445-1s-1a-punainen-40mm/S-2320244/dp>
6. <http://www.ctek.com/fi/fi/chargers/MXTS%2070%2050>
7. Metropolian työtila ePotkuri
8. <http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2008/20080400?search%5Btype%5D=pika&search%5Bpika%5D=akut>
9. <http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2005/20050621?search%5Btype%5D=pika&search%5Bpika%5D=vene>
10. http://samiselio.com/juniorteam_yleista.php
11. <http://www.vilkut.net/lapivienti-17mm-halkaisija-43mm-blue-p-3510.html>
12. <http://www.adita.fi/?file=570>
13. <http://www.sahkobit.fi/verkkokauppa/johdonsuojakatkaisija-stotz-s201c63-abb-p-9133.html>
14. <http://www.vinssit.net/virtalukko-metallia-start-4xlaattaliitin-200x170mm-asennusreika-p-4843.html>
15. <http://www.sahkobit.fi/verkkokauppa/jako-kojerasiat-c-11569.html>

16. <http://www.tarvikkeet.fi/tuotteet/akut/akkulaturit/ctek-akkulaturit-24v>
17. <http://www.es-store.co.uk/victron-battery-monitors.html>
18. http://exide.fi.loopiadns.com/wp/wp-content/uploads/2013/09/Lead_Acid_Exide_FI.pdf
19. http://www.vilkut.net/blue-sahkotarvikkeet-liitinrima-c-896_323_363.html
20. http://www.advancedbatterysupplies.co.uk/vartaleisureprofessionaldeepcyclebattery/260_830260152
21. <http://www.netshop360.no/produkt/batterier/ladbare/haze/haze-gel/hzy-mr-marine/hzy-mr-12230-12v-245ah>
22. <http://www.ebay.com/itm/SOLAR-MARINE-RV-GEL-AGM-BATTERY-LIFELINE-12V-GPL-8DL-255AH-MAINTENANCE-FREE-/181392337438>
23. <http://www.impactbattery.com/lifeline-1257-tb-racing-battery.html>
24. http://www.visedo.com/images/stories/PowerMASTER_inverter_datasheet%201112.pdf
25. <http://www.sahkobit.fi/verkkokauppa/vikavirtasuojakytkin-f204a63003-4nap-63a30ma-p-1797.html>
26. <http://kotiverstas.com/keskustelu/index.php?topic=6655.0>
27. http://publications.theseus.fi/bitstream/handle/10024/61345/Holopainen_Joni_2013_05_30.pdf?sequence=1
28. <http://www.yeint.fi/index.php?main=64&productCat=1388&productID=16730&productCode=GP-12-1500&brand=YES&mainProductGroup=TEHOL%C3%84HTEET&subProductGroup=DC%2FAC+INVERTTERI>

Hankintahinnasto

Nimike Merkki	Valmistaja	Myyjä	kpl	á hinta	yht. hinta
LL 1257TB akku	Lifeline	impactbattery.com	2	268,95\$ (196,36€)	392,72€
Smart Marine akkulaatikko	Smart Box	impactbattery.com	2	31,95\$ 23,05€	46,10€
MXTS 70/50 laturi	Ctek	tarvikkeet.fi	1	1091,00€	1091,00€
Laturin laatikko (akkulaatikko)	Akkupojat	akkupojat.fi	2	20,00€	40,00€
BMV602-S akkumonitori	Victron	es-store.co.uk	1	142,62£ (173,45€)	173,45€
Läpivienti 17mm, halkaisija 43mm	Blue Sea	vilkut.net		20,16€	
Liitinrima 6 osainen	Blue Sea	vilkut.net	1	6,05€	6,05€
Jakorasia AP9	ABB	sahkobit.fi	2	2,50€	5,00€
Virtalukko, metallia, ei start, 0-1, 4xlaattaliitin		vinssit.net	1	19,15€	19,15€
XB4BS8445 Hätä-seis-painike	Schneider Electric	taloon.com	1	52.50€	52,50€
Johdonsuojakatkaisija STOTZ S201-C63	ABB	sahkobit.fi	1	59,00€	59,00€
Vikavirtasuojakytkin F204A-63/0,03 4NAP 63A/30mA	ABB	sahkobit.fi	1	94,50€	94,50€
Jakorasia AP10	ABB	sahkobit.fi	1	6,90€	6,90€
Invertteri 12V _{DC} /230V _{AC} :1500W	YES Power	yeint.fi	15	104,00€	1560,00€
Tasasuuntaussilta Bridge 35A 600V	Rectron	yeint.fi	15	4,55€	68,25€

Hinnat otettu 2.5.2014 kurssien ja hinnastojen mukaan.

Akkujen huolto-ohjeet

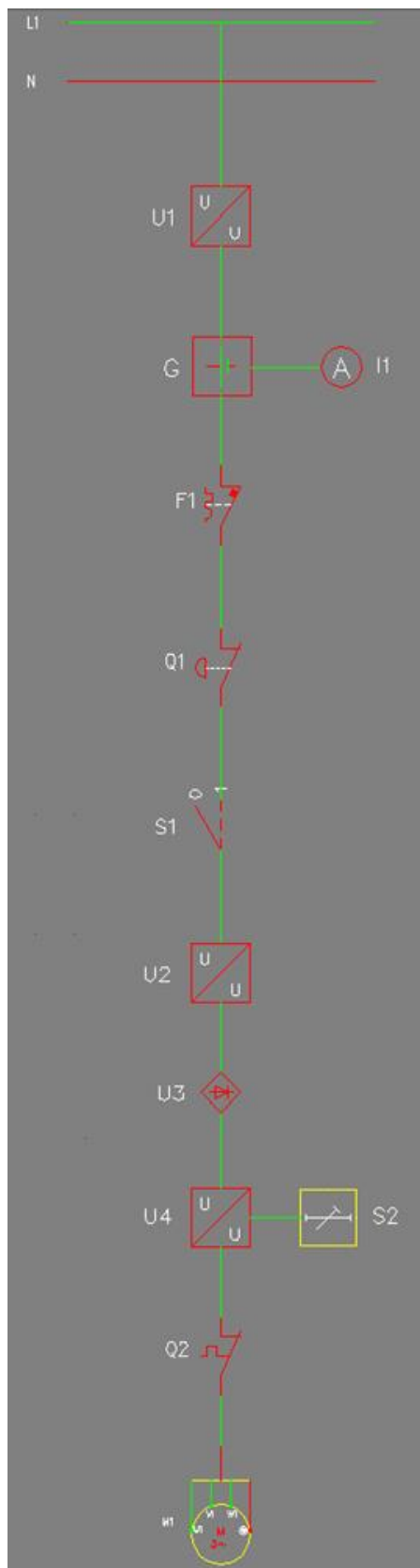
Akun oikea lataaminen on tärkeää akkujen kestämisen takia. Vanhentunutta tai laiminlyötyä akkua ei kannata käyttää.

Huonosti säilytetty, käsitelty, väljästi asennettu tai viallinen laturi voi vahingoittaa akkua.

Viileämmässä varastoinnissa akku purkautuu vähemmän. Kuitenkin pitää varoa ääri lämpötiloja. Ennen varastointia akku pitää varata täyteen ja varastoinnin ajaksi akku on kytkettävä irti sähköjärjestelmästä (laturista).

Jos akkua ei käytetä pitkään aikaan, on hyvä tarkistaa sen kunto säännöllisin väliajoin mittaamalla varaustaso, jotta varmistetaan pitkä käyttöikä.

Sähköpiirustukset



U1	Laturi
G	Akut
I1	Akkumonitori
F1	Johdonsuojakatkaisija
Q1	Hätä-Seis-painike
S1	Virtalukko
U2	Invertteri YES Power 15 kpl rinnankytketty
U3	Tasasuuntaussilta 15 kpl rinnankytketty
U4	Invertteri PowerMaster 250
S2	Kaasukahva
Q2	Lämpörele
M1	3~ Moottori

Moottorin ominaisuudet [7]

Taulukko 1 Toiminnalliset arvot

Parametri	Arvo
Nimellisaika n_N, min^{-1}	3000
Nimellisaika f_s, Hz	200
Syöttävän akun nimellisjännite U_{DC}, V	240
Teoreettinen maksipääjännite $U_{DC}/\sqrt{2}, \text{V}$	170
Nimellisjännite U, V	150
Nimellinen vaihejännite U_{sph}, V (RMS value)	89
Nimellisvirta I_s, A @ 10 kW (@ 20 kW)	40.2 (80)
Nimellinen näennäisteho S, kVA	10.7
Nimellinen tehokerroin, $\cos\phi$	0.98
Nimellispisteen hyötysuhde, η	0.945
Nimellisteho P_N, kW	10
Nimellisvääntömomentti T_N, Nm	32
Maksimivääntö, Nm	198
Staattori-resistanssi R_s, Ohm	0.035

Taulukko 2 Fyysiset tiedot

Parametri	Arvo
STAATTORIN MAGNEETTIPIIRI	
Staattoripaketin fyysinen pituus l_{sFe}, mm	210
Staattoripaketin täytekerroin k_{Fe}	0.97
Staattoripaketin materiaali	M270-50A
Staattorin sormilevyt, ruostumatonta austeniittista terästä, paksuus, mm	3
Kummallekin vyyhdenpäälle varattava tila pituussuunnassa vähintään, mm	50
Staattorin kokonaispituus vyyhdenpäästä vyyhdenpäähän $(50 + 3 + 210 + 3 + 50), \text{mm}$	316
Radiaalisia jäähdytyssolia n_{vs}	0
Staattoriselän sisähalkaisija D_{svi}, mm	48.5
Staattorin ulkohalkaisija D_s, mm	105
Staattoriselän magneettinen korkeus h_{ys}, mm (voi tehdä korkeammaksi, jos sisäreikää voi pienentää)	8
Staattoriurien määrä Q_s	24
Uria napaa ja vaihetta kohti q	1
Staattorin uravinous yhden urajaan verran, mm $(105 \times \pi / 24)$	13.7
ILMAVÄLI, δ, mm	
	1.5
ROOTTORI	
Napojen lukumäärä $2p$	8
Roottorin ulkohalkaisija D_{re}, mm	130
Roottoriselän sisähalkaisija, D_{rvi}, mm	116
Roottoriselän korkeus, h_{vt}, mm	7
Roottoriputken pituus, l_{rFe}, mm	216
Roottorin tangentiaalinen jännitys 10 kW:n nimellisteholla $\sigma_{tan} \text{ kPa}$	8.3 kPa *
Roottorin tangentiaalinen jännitys 20 kW:n teholla $\sigma_{tan} \text{ kPa}$	16.6 kPa **
Kestomagneetin korkeus h_{PM}, mm	4
Kestomagneetin leveys kaarta pitkin w_{PM}, mm	34.4
Kestomagneetin aksiaalinen pituus l_{PM}, mm (magneettien pitää olla pitemmät kuin staattoripaketti)	$4 \times 54 = 216$

Kestomagneettien mitat (kaarevat) $w \times h \times l$, mm ³	34.4 × 4 × 216
Kestomagneetti esim. Neorem 776 a, remanenssi B_r @ 60 °C, T (katso liite)	1.22
Kestomagneetin suhteellinen permeabiliteetti μ_r	1.05
Koersiivivoima H_c , kA/m	910 kA/m
<p>Roottorin rakenne. Magneetit liimataan epoksiliimalla (tarkista magneettien myyjältä paras liimausmateriaali) magneettisesti pehmeästä teräksestä (esim. Fe 52) valmistetun putken sisään. Jotta liimaus onnistuisi, kannattaa valmistaa esim. teflonista jigi, jossa on magneettien kokoiset kulmikkaat reiät. Näin magneetit eivät ajelehdhi liimauksen aikana. Magneettien pitää ulottua symmetrisesti kummastakin päästä yli staattoripaketin aktiiviosan.</p> <p>Roottorissa ei ole vinoutta, vaan uravinous järjestetään staattoriin. Uravinous tarvitaan vääntömomentin tasoittamiseksi.</p>	
Staattorikäämi	
kaksikerroslimikäämi	$q = 1$ (uria napaa ja vaihetta kohti) $a = 2$ (rinnakkaisten haarojen määrä)
Staattorikäämi	
kaksikerroslimikäämi	$q = 1$ (uria napaa ja vaihetta kohti) $a = 2$ (rinnakkaisten haarojen määrä)
Käämityksen kytkentä tähteen sisäisesti, vaiheiden päät aksiaalisesti ulos	
Napapariluku p	4
Number of slots per pole and phase q	1
Käämityskerroin k_{wl} , joka ottaa uravinouden huomioon	0.956
Käämikierrosten määrä puoliurassa $z_Q/2$, kpl	5
Käämikierrosten määrä sarjassa N_s , kpl	20
<p>Johdin koostuu seitsemästä Grade 2 eristetyistä käämilangasta. Yksittäisen langan kuparin halkaisija 0.9 mm. Eristetyn langan halkaisija 0.989 mm ~ 1 mm. Virrantiheys 10 kW:n kohdalla noin 4 A/mm². Uraan näyttäisi mahtuvan ainakin osa langoista nimellishalkaisijaltaan 1 mm:n kokoisena. Näin virrantiheys saataisiin hyväksyttäväksi myös 20 kW:n teholla. 1 mm:n Grade 2 langan ulkohalkaisija on 1.094 mm ~ 1.1 mm</p>	
JÄÄHDYTYS	
Jäähdytysmenetelmä	Roottorin ulkokehä on vedessä ja jäähtyy siten tehokkaasti. Staattorin sisäreiän läpi on syytä antaa myös veden virrata. Vyyhdenpää voidaan tarvittaessa valaa johtavaa massaa käyttäen kiinni staattorin keskiputkeen, jolloin vyyhdenpäiden jäähdytys paranee
Kotelointiluokka	IP 67

Invertterin ominaisuudet [24]

SPECIFICATIONS**DC connection**

DC link voltage range	0 - 800 V _{DC}
DC link nominal voltage	750 V _{DC}
Integrated DC-link charger	Charges DC-link in 6 seconds from 12/24V DC

AC connection

AC output voltage	0-560 V _{EFF} (U _{DC} = 800 V _{DC})
Nominal current	300 A _{RMS}
Nominal power	250 kW
Output frequency	0...1000 Hz
Switching frequency	1.5...8 kHz

Ambient conditions

Storage temperature	-40°...+105°C
----------------------------	---------------

Operating temperature	-40°...+105°C
------------------------------	---------------

Altitude	max. 2000 m
-----------------	-------------

Enclosure class	IP 67 (with option IP6K9K)
------------------------	----------------------------

Mechanical vibration	10 G
-----------------------------	------

Mechanical shock	50 G
-------------------------	------

Cooling

Cooling type	Liquid cooling
Coolant type	Water or water glycol mixture (max. 50%)
Coolant temperature	-40°...+65 °C
Coolant flow	min. 10 l/min
Maximum operating pressure	2 bar
Pressure drop	100 mbar with 10l/min

Visedo PowerMASTER – Product data R112**Control Connections**

CAN protocols	CANopen, SAE J-1939 (Other protocols can be implemented as needed)
Control signals	Interface consists of: <ul style="list-style-type: none"> - 2 x SIL2 Stop signals - 2 x CAN - Resolver - 5 x PT 100 input - High voltage diagnostic loop, etc.

Motor Control Characteristics

Controllable motor types	-Permanent magnet -Asynchronous induction -Synchronous reluctance assisted permanent magnet
Control principle	Rotor flux oriented current vector control

Control methods	-Torque reference -Speed reference -Generator control mode
------------------------	--

Field weakening control	Maximizes the field weakening performance by optimizing the use of inverter current and torque production capability of the motor.
--------------------------------	--

Working point optimization	Maximum torque per ampere working point optimization is used to improve efficiency of the motor.
-----------------------------------	--

User application

IEC61131-3 environment	CoDeSys V3 for customer application software programming
-------------------------------	--

